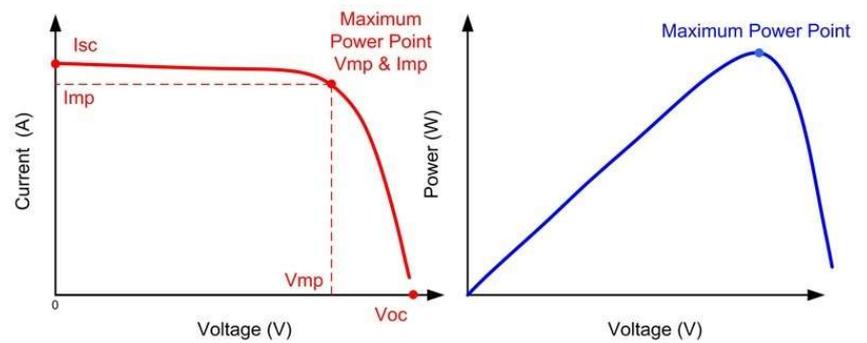


Chapitre 3

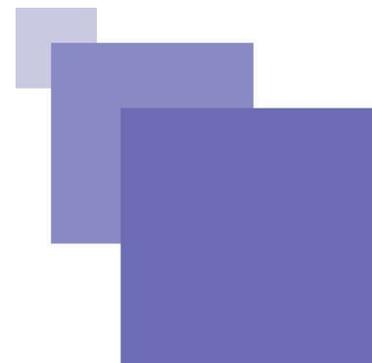
1
Générateur photovoltaïque



KARAMOSTEFA-KHELIL CHÉRIFA
UNIVERSITÉ DE KHEMIS MELIANA

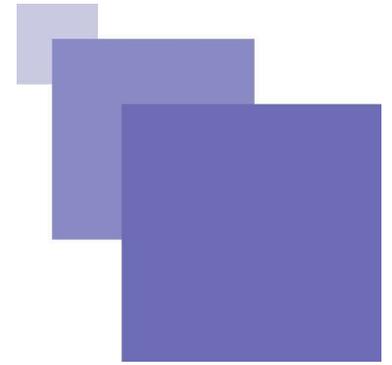
Légende

Table des matières



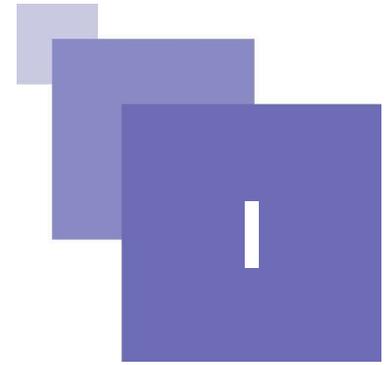
Objectifs	7
I - Caractéristiques d'un module photovoltaïque	9
A. Modèle à une diode.....	9
B. Modèle à deux diodes.....	11
1. Module solaire ou photovoltaïque.....	13
2. Diodes « by-pass ».....	14
3. Constitution d'un champ photovoltaïque.....	15
4. facteurs influençant sur la caractéristique (I,V) du champ PV.....	16

Objectifs



L'objectif de ce chapitre est de connaître les modèles physiques de la cellule photovoltaïque avec leurs schémas et équation, les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$ ainsi que l'influence des différents paramètres climatiques et/ ou électrique sur ces courbes.

Caractéristiques d'un module photovoltaïque



Modèle à une diode

9

Modèle à deux diodes

11

A. Modèle à une diode

Le module photovoltaïque est caractérisé par des paramètres électriques en fonction de l'éclairement et la température du module. Ces caractéristiques sont le courant I et la tension V qui sont déduits de son schéma équivalent.

La loi des nœuds, nous permet de déterminer la fonction $I=f(I,V)$ pour un module donné en fonction du photocourant I_L , la résistance série R_s et la résistance shunt R_{sh} . Cette relation est donnée comme suit :

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{(V + I \cdot R_s)}{A \cdot V_t}} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

avec :

$$V_t = \frac{k \cdot T_j}{q}$$

Avec : I_L photo-courant, I_0 courant de saturation, q charge de l'électron ($e=1.6 \cdot 10^{-19}$), k constante de Boltzmann ($K= 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/k), A facteur d'idéalité relative au module, T_j température de jonction, R_s résistance série et R_{sh} résistance shunt.

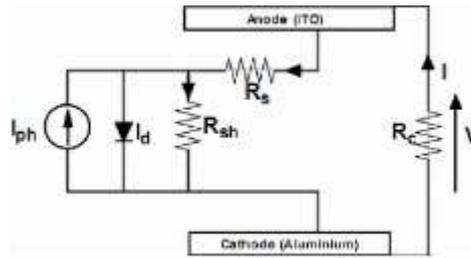


figure 3.1- Schéma de la cellule photovoltaïque à une diode

Une cellule solaire est caractérisée par les paramètres fondamentaux suivants:

- **Courant de court circuit (Isc)** : C'est la plus grande valeur du courant générée par une cellule pour une tension nulle ($V_{pv}=0$).
- **Tension en circuit ouvert (Voc)** : Représente la tension aux bornes de la diode quand elle est traversée par le photo-courant I_{ph} ($I_d = I_{ph}$) quand ($I_{pv}=0$). Elle reflète la tension de la cellule en absence de lumière, elle est exprimée mathématiquement

par :

$$V_{oc} = V_t * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right)$$

Point de puissance maximale (Pmpp): est le point M (V_{mpp} , I_{mpp}) de la figure suivante où la puissance dissipée dans la charge est maximale.

$$P_{mpp} = V_{mpp} * I_{mpp}$$

Avec :

V_{mpp} : La tension optimale (Tension de point de puissance maximale)

I_{mpp} : Le courant optimale (courant de point de puissance maximale).

- **Rendement maximum** : est le rapport entre la puissance maximale et la puissance

à l'entrée de la cellule solaire.

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{P_{in}} = \frac{V_{mpp} * I_{mpp}}{A_{pv} * G}$$

Où :

G : l'irradiation qui représente la puissance lumineuse reçue par unité de surface (W/m^2).

A_{pv} : Surface effective des cellules.

Les conditions normalisées de test des panneaux solaires sont caractérisées par un rayonnement instantané de $1000W/m^2$ d'une température ambiante de $25^\circ C$ et d'un spectre AM de 1.5. AM représente l'Air Masse qui est l'épaisseur de l'atmosphère que la lumière doit pénétrer. Ces conditions sont appelées STC (Standard Test Conditions) cela correspond à un ensoleillement assez fort.

La figure ci-dessous présente la courbe courant-tension d'une cellule photovoltaïque avec les points importants qui la caractérise.

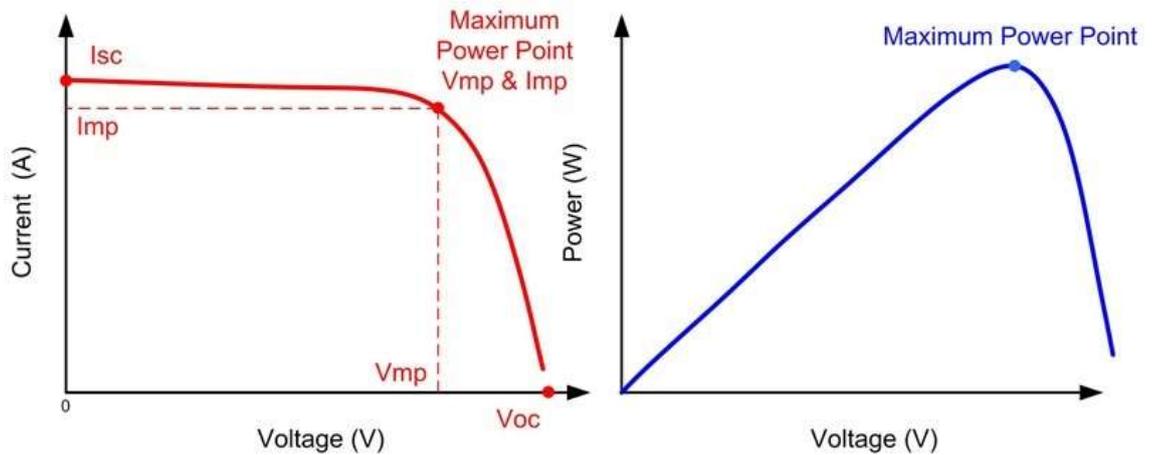


Figure 3.2- courbe $I=f(V)$ et $P=(V)$

B. Modèle à deux diodes

Le module photovoltaïque est représenté par son schéma électrique équivalent . Nous avons, cette fois-ci, deux diodes pour représenter les phénomènes de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison des porteurs minoritaires, d'une part en surface du matériau et d'autre part dans le volume du matériau.

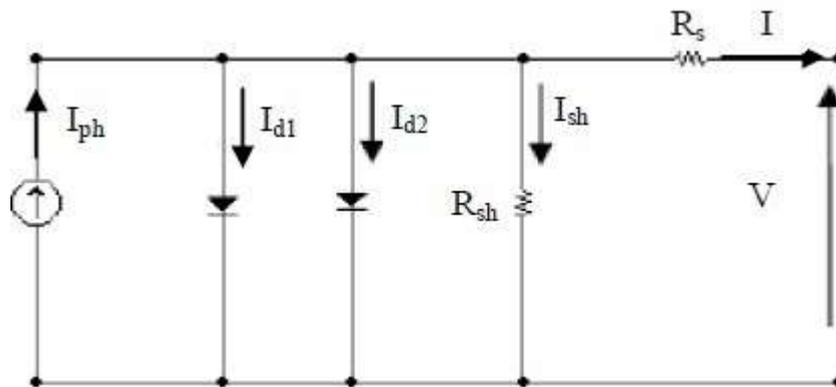


Figure 3.3- Modèles cellules photovoltaïque à deux diodes

Le courant généré par le module est donné par la loi de Kirschoff :

$$I = I_{ph} - (I_{d1} + I_{d2}) - I_{Rsh}$$

I_{ph} et I_{sh} garderont les mêmes expressions que celles du modèle à une diode. Le courant traversant les diodes est donné par les équations suivantes :

$$I_{d1} = I_{01} \left[e^{\frac{q(V + I \cdot R_s)}{A \cdot V_t}} - 1 \right]$$

$$I_{d2} = I_{02} \left[e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{2 \cdot A \cdot V_i}} - 1 \right]$$

Où :

I_{01} , I_{02} : les courants de saturation des diodes, ils sont donnés par ces deux équations:

$$I_{01} = P_4 \cdot T_j^3 \cdot e^{\frac{-E}{k \cdot T_j}}$$

$$I_{02} = P_5 \cdot T_j^3 \cdot e^{\frac{-E}{2 \cdot k \cdot T_j}}$$

1. Module solaire ou photovoltaïque

a) Association des cellules en série

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour obtenir une tension plus importante : le module solaire ou panneau photovoltaïque. Un panneau photovoltaïque est un assemblage en série de cellules permettant d'obtenir une tension de 12 volts.

La puissance d'un panneau solaire est en fonction de sa surface, c'est à dire du nombre de cellules photovoltaïques.

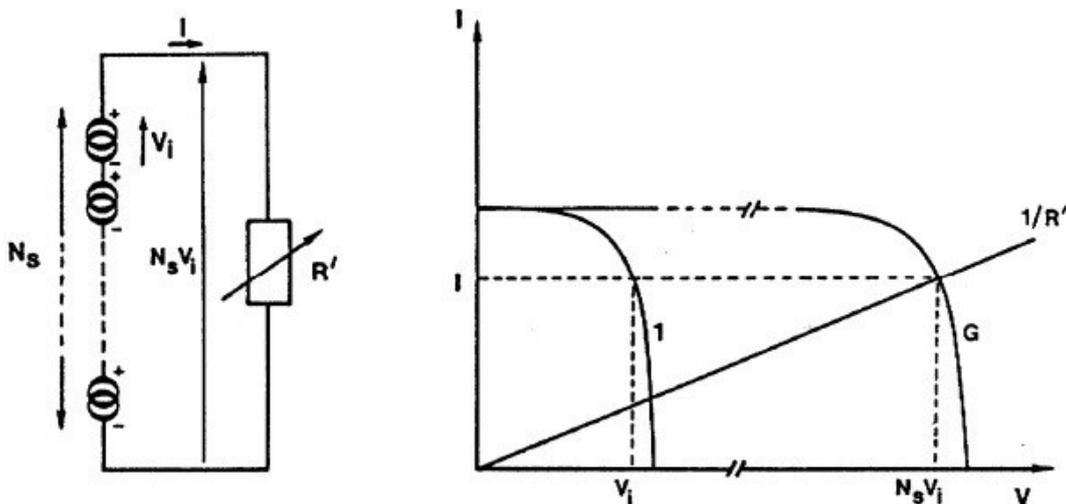


figure 3.4- cellule PV en série

b) Association des cellules en parallèle

La figure ci-dessous présente la courbe de puissance d'un groupement de N_p cellules ou de N_p modules en parallèle. Cette fois-ci, c'est la tension de chacun des éléments qui doit être

identique, les courants s'ajoutent, la nouvelle courbe est obtenue en multipliant point par point et pour chaque valeur de tension, le courant de la cellule élémentaire par N_p . L'impédance optimale du groupement sera N_p fois plus faible que celle de l'élément de base.

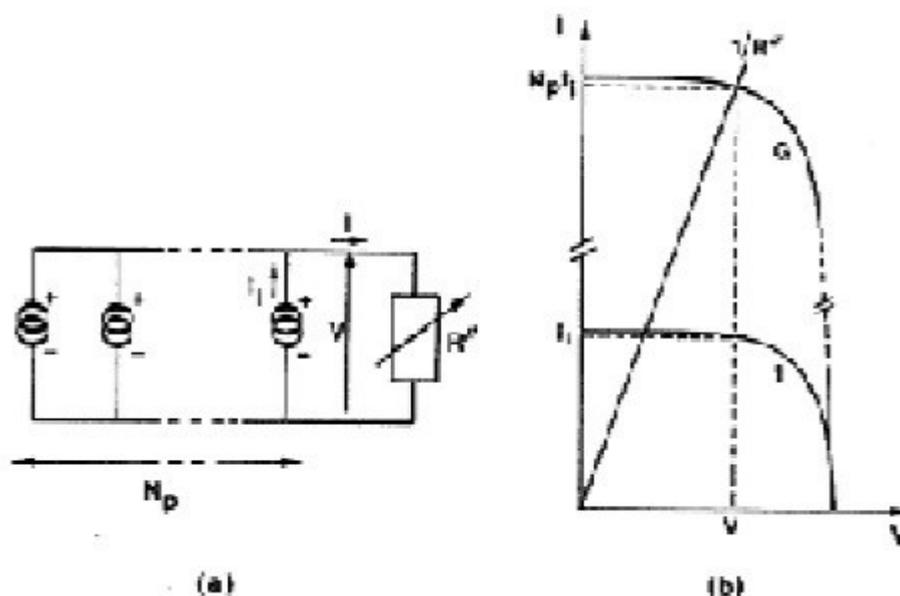


figure 3.5- cellule en parallèle

2. Diodes « by-pass »

La mise en série des cellules peut être dangereuse lorsque l'une d'entre elles se retrouve à l'ombre. Elle va s'échauffer et risque de se détruire.

En effet, une cellule "masquée" voit l'intensité qui la traverse diminuer. De ce fait, elle bloque la circulation de l'intensité "normale" produite par les autres modules. La tension aux bornes de cette cellule "masquée" augmente, d'où apparition d'une surchauffe.

C'est l'effet d'autopolarisation inverse. Une telle cellule est appelée "Hot spot". Pour supprimer ce problème et protéger la cellule « masquée », on place des diodes « by-pass » en anti-parallèles sur 18 ou 24 cellules de façon à court-circuiter les cellules ombrées.

Un panneau solaire dispose d'une à trois diodes by-pass, en fonction de son nombre de cellules (en moyenne 36 cellules pour 3 diodes bypass). En cas de masque :

- 1 diode : 100 % du module est en by-pass,
- 2 diodes : 50 % du module est en by-pass,
- 3 diodes : 33 % du module est en by-pass.

Exemple :

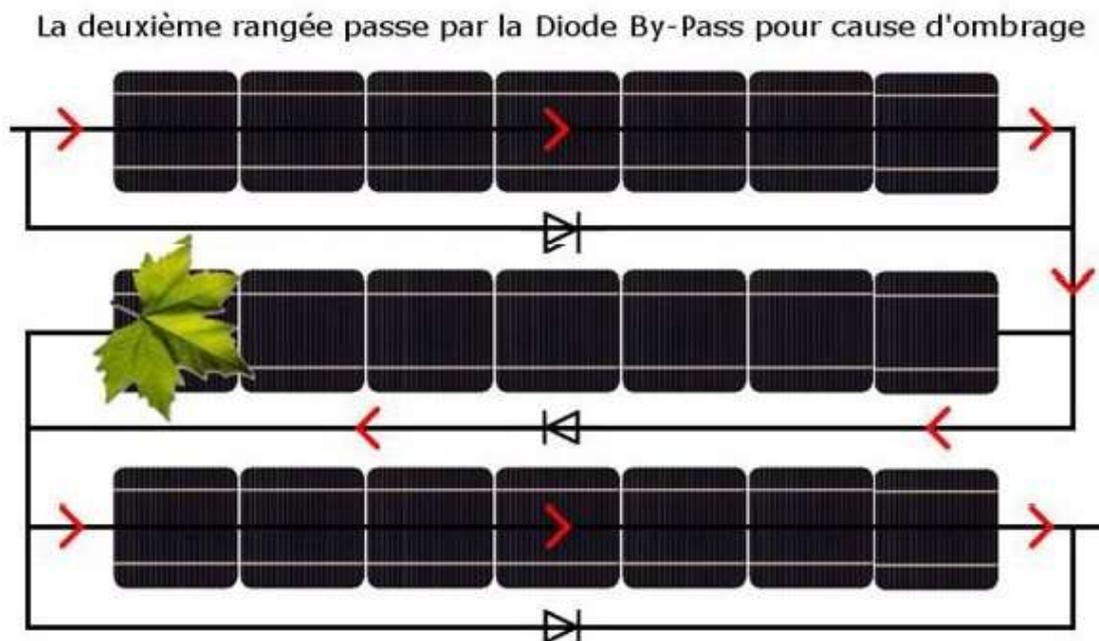


figure 3.6- diode by pass

3. Constitution d'un champ photovoltaïque

Afin d'obtenir la tension nécessaire à l'onduleur, les panneaux sont connectés en série. Ils forment alors une chaîne de modules ou string.

Les chaînes sont ensuite associées en parallèle et forment un champ photovoltaïque (champ PV). Il faut également installer des diodes ou des fusibles en série sur chaque chaîne de modules.

Ces protections sont utiles pour éviter qu'en cas d'ombre sur une chaîne, elle se comporte comme un récepteur et que le courant y circule en sens inverse et l'endommage.

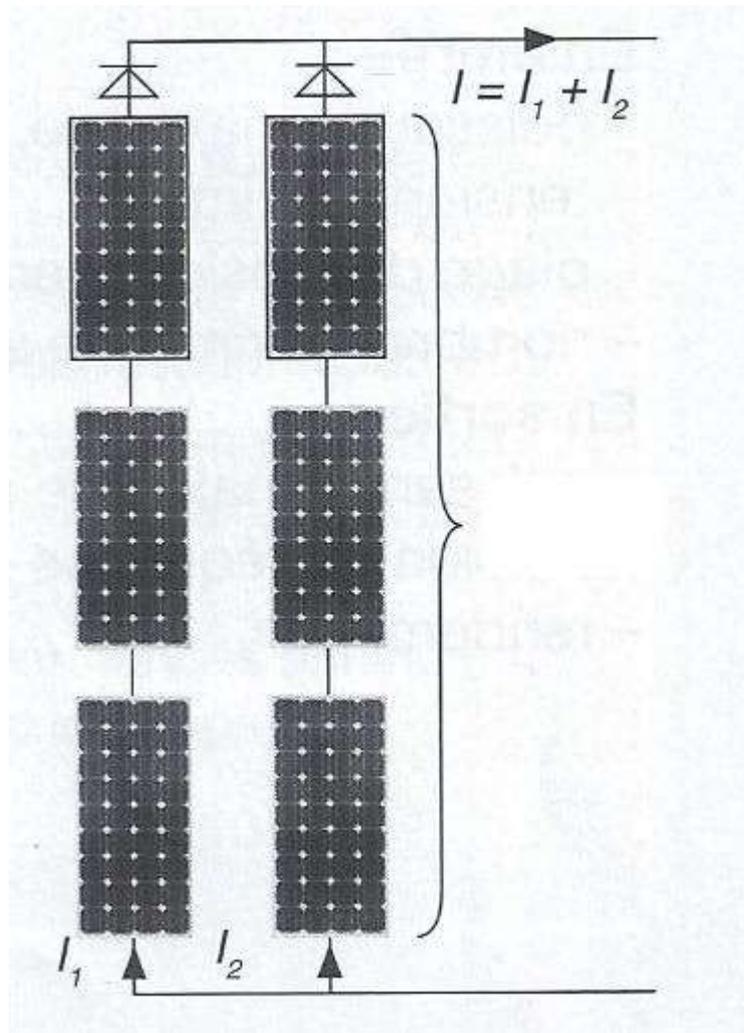


figure 3.7- Champ PV

4. facteurs influençant sur la caractéristique (I,V) du champ PV

a) Influence de l'éclairement

La caractéristique $I=f(I,V)$ d'un module photovoltaïque dépend de l'intensité de l'éclairement solaire. En effet, le courant est proportionnel à l'intensité de l'éclairement principalement pour les valeurs de tension faibles montré dans la figure ci-dessous.

A un faible niveau d'éclairement, le courant de court-circuit I_{cc} est proportionnel à l'éclairement solaire (la résistance R_s étant négligée). Il est de l'ordre de 30 mA/cm² pour un éclairement égal à 1000W/m², une température de jonction égale à $T=25^{\circ}\text{C}$ et un module photovoltaïque en silicium monocristallin (Conditions standard).

La tension de circuit-ouvert augmente lentement avec l'augmentation de l'éclairement solaire. Elle ne dépend pas de la surface éclairée mais du matériau utilisé seulement. Sa valeur est de l'ordre de 590 mV pour un éclairement égal à 1000W/m², une température égale à $T=25^{\circ}\text{C}$ et un module photovoltaïque en silicium monocristallin. La puissance optimale du module photovoltaïque est

proportionnelle à l'éclairement.

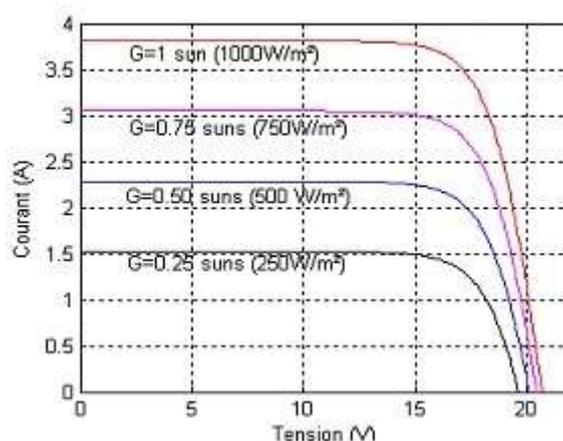


figure 3.8- influence de l'éclairement

b) Influence de la température

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules photovoltaïques. Ainsi pour un module incorrectement ventilé, sa température peut monter très haut ses performances électriques peuvent se dégrader comme le montre la figure ci-dessous.

L'influence de la température est non négligeable sur la caractéristique $I=f(I,V)$ du module photovoltaïque. Pour le silicium, lorsque la température augmente :

- le courant augmente d'environ 0,025 mA/cm²/°C/Cellule.
- la tension décroît de 2,2 mV/°C/cellule.

D'où, une baisse de puissance d'environ 0,4%/°C. Ainsi donc, cette influence devra être prise en compte lors du dimensionnement du générateur photovoltaïque pour les sites très chauds.

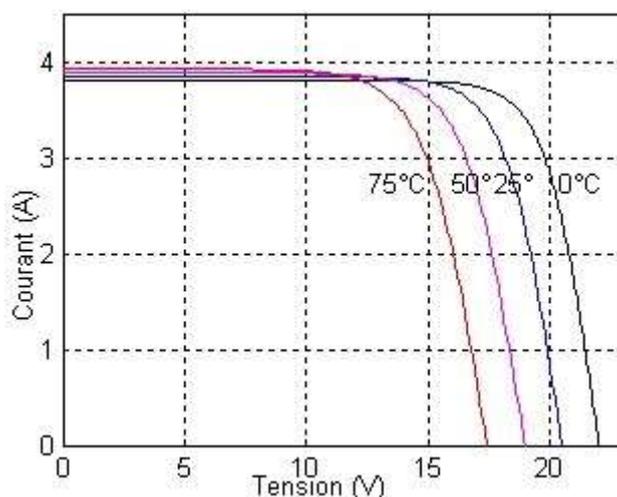


figure 3.9- influence de la température

c) Influence de la résistance série

D'une valeur généralement très petite, la résistance série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone où la cellule se comporte comme un générateur de tension comme le montre la figure ci-dessous. Elle ne modifie pas la tension de

circuit-ouvert, mais lorsqu'elle est anormalement élevée, elle peut diminuer notablement la valeur du courant de court-circuit. La valeur de la résistance série est gouvernée par la résistivité du matériau, par les résistances de contact des électrodes et par la résistance de la grille collectrice.

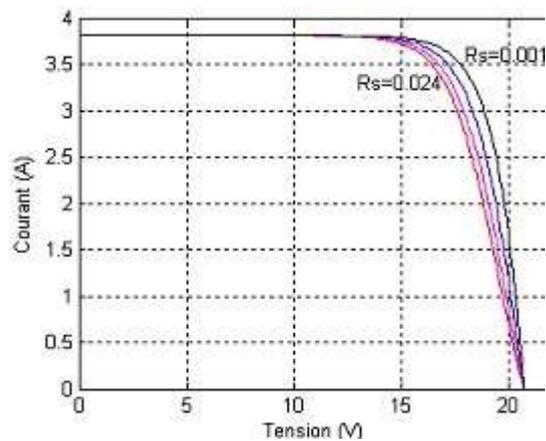


figure 3.10- influence de la résistance série

d) Influence de la résistance shunt

Il s'agit le plus souvent d'une conductance de fuite. C'est comme si l'on devait soustraire au photocourant, outre le courant de diode, un courant supplémentaire proportionnel à la tension développée. La résistance shunt est en général très élevée. On peut facilement percevoir une anomalie à la lecture de la caractéristique par la présence d'une légère pente au voisinage du point de courant de court-circuit montré dans la figure ci-dessous. Une résistance shunt trop faible aura un impact sur la tension de circuit-ouvert de la cellule; en outre, une cellule PV dont la résistance shunt est trop faible ne donnera plus de tension sous faible éclairement.

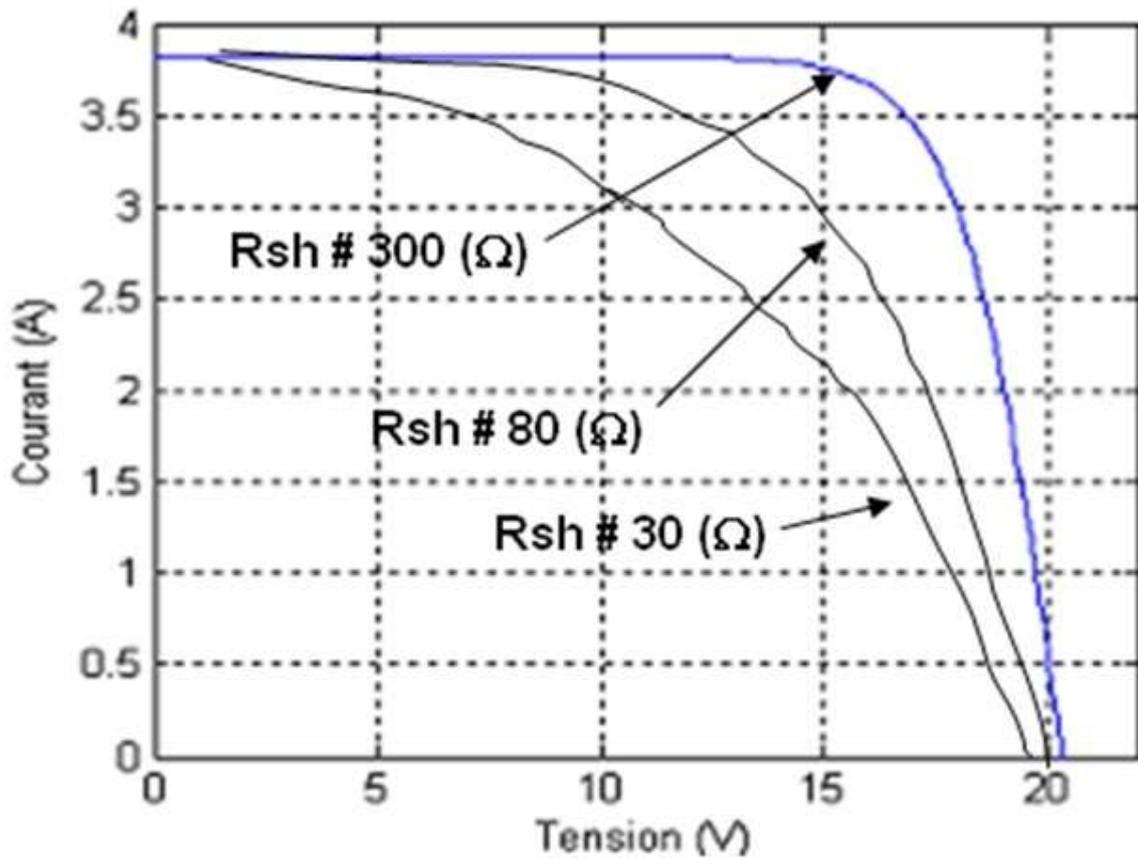


figure 3.11- influence de la résistance shunt